

ALIUMINIO PLAZMINIO PJOVIMO TYRIMAI

Mindaugas Jašinskas¹, Irmantas Gedzevičius², Giedrius Garbinčius³, Justinas Gargasas⁴

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹suvir.lt@vgtu.lt; ²irmantas@vgtu.lt; ³giedrius.garbinčius@vgtu.lt; ⁴justinas.gargasas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas spalvotųjų metalų plazminio pjovimo procesas. Tiriama aliuminio plazminio pjovimo režimų įtaka pjūvio kokybei, naudojant oro plazmą. Pateikiami plazminio pjovimo režimai keičiant pjovimo greitį, srovę, pjoviklio pasvirimo kampą, atstumą tarp tūtos ir pjaunamos plokštelės. Remiantis gautais rezultatais pateikiamos priklausomybės. Nurodoma konkretaus pjovimo parametro įtaka pjūvio kokybei.

Reikšminiai žodžiai: plazminis pjovimas, aliuminio pjovimas, plazminio pjovimo parametrai.

Įvadas

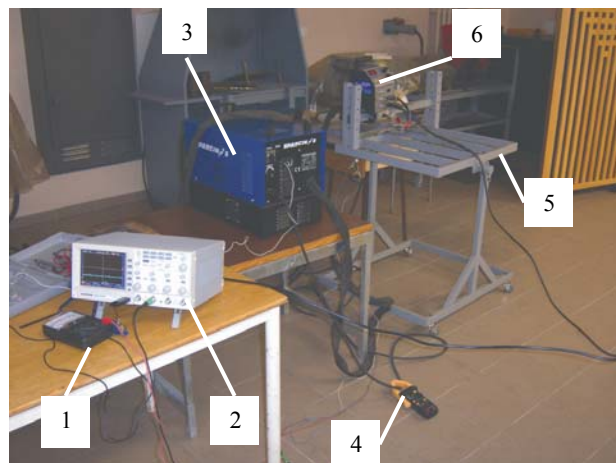
Plazminio suvirinimo ir pjovimo šilumos šaltinis yra dirbtiniu būdu suspaustas (labai koncentruotas) elektros lankas. Fizikinę plazmos sąvoką pasiūlė JAV fizikas ir chemikas Ervingas Langmiuras 1923 metais. Ja jis pavadino tokią dujų būseną, kai, atskilus elektronams nuo atomų, dujos pasidaro laidžios elektros srovei. Elektronams išplėsti iš orbitos reikalinga energija, tam tinka elektros lanko šiluma. Pats lankas iš esmės yra plazma, bet technikoje šis terminas naudojamas tik iš išorės suspaustam lankui pavadinti. Suspaudus elektros lanką, padidėja energijos tankis ploto vienetu ir labai pakyla temperatūra.

Anksčiau populiariausias metodas plienui pjauti buvo dujinis pjovimas. Dabar vis dažniau taikomas plazminis pjovimas, be to, plazminio pjovimo procesas gerokai patobulėjo (Valiulis 2008). Dabartinis plazminis pjovimas yra daug greitesnis, mažesnės eksploatacijos išlaidos, geresnė pjovimo, drožimo ir skylių lydymo kokybė. Plazma pjaunama greičiau negu deguonimi, nereikia metalo iš ankstinio pakaitinti, pjūvio plotis nedidelis, mažesnė terminio poveikio zona, todėl pjaunamas metalas nesideformuoja, nepažeidžiamas šalia pjūvio esantis dažų sluoksnis. Visi pateikti privalumai pasireiškia pjaunant neanglingąjį plieną, bet nėra aišku, ar įmanoma kokybiškai pjauti spalvotuosius metalus. Taigi šio tyrimo tikslas – nustatyti, kaip plazminio pjovimo parametrai veikia spalvotųjų metalų pjūvio kokybę. Tyrimams pasirinktas plačiausiai naudojamas spalvotasis metalas – aliuminis.

Tyrimų metodika

Plazminio pjovimo parametrams tirti naudotos 6 mm storio aliuminio plokštelės. Pjauta plazminio pjovimo įren-

giniu SPARCIN 8C su įmontuotu kompresoriumi. Siekiant išlaikyti kuo tikslesnius pjovimo parametrus, pagamintas plazminio pjovimo stendas (1 pav.). Stendą sudarė laikantysis rėmas, ant jo sumontuotas savaeigis mechanizmas „Promotech, Pro 15 Wolf“, į kurio laikiklį įstatytas plazminio pjovimo degiklis. Savaeigis mechanizmas reikalingas tam, kad būtų išlaikytas nustatytas pjovimo greitis ir plazminio pjovimo degiklio atstumas nuo plokštelės. Jame galima nesudėtingai ir tiksliai keisti plazminio pjovimo degiklio atstumą nuo pjaunamos plokštelės ir pjovimo greitį.



1 pav. Plazminio pjovimo stendas: 1 – voltmėtras; 2 – oscilografas; 3 – plazminio pjovimo įrenginys; 4 – srovės matavimo replės; 5 – rėmas; 6 – savaeigis mechanizmas

Fig. 1. Stand of plasma cutting: 1 – voltmeter; 2 – oscillograph; 3 – system of plasma cutting; 4 – clamp meter; 5 – frame; 6 – automotive machine

Atliekant tyrimą, prie plazminio pjovimo įrenginio SPARCIN 8C elektrodo prijungtas voltmėtras, o prie įžeminimo per šuntą prijungtas oscilografas. Kadangi plazminis įrenginys SPARCIN 8C nerodo srovės, naudo-

tos srovės matavimo replės. Plazminio pjovimo įrenginys SPARCIN 8C sukurtas pasitelkiant inverterines technologijas, todėl iškilo klausimas, kokia srovė ir įtampa naudojama pjaunant, – pastovi ar pulsuojanti? Siekiant tai nustatyti buvo prijungtas oscilografas. Oscilografu taip pat vertinta, kaip plazmos lanko ilgio pokytis veikia pjovimo įtampą ir srovę.

Eksperimentų rezultatai ir jų analizė

Pjovimo proceso visi fiksuojami duomenys pateikti 1 lentelėje. Pjovimo metu lanko ilgis (atstumas nuo tūtos iki gaminio) buvo 4 mm. Lanko įtampa – 120 V.

1 lentelė. Bandymų duomenys

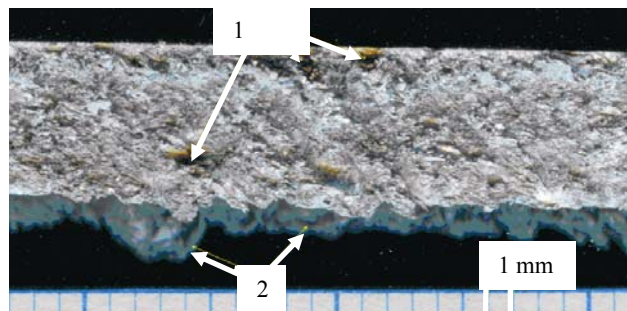
Table 1. Testing parameters

Bandymo Nr.	Pjovimo greitis, mm/s	Srovė, A	Kampas, °
1	25	42,2	90
2	33	42,2	90
3	41	42,2	90
4	50	42,2	90
5	56	42,2	90
6	64	42,2	90
7	75	42,2	90
8	92	42,2	90
9	109	42,2	90
10	117	42,2	90
11	125	42,2	90
12	142	42,2	90
13	200	42,2	90
14	184	42,2	90
15	217	48	90
16	217	45	90
17	217	47	90
18	217	50	90
19	217	53	90
20	217	61,8	90
21	217	69,1	90
22	217	71,2	90
23	217	57	45
24	217	57	90
25	217	57	135

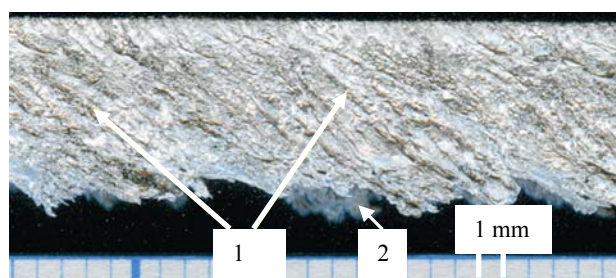
Iš viso atliktos penkios bandymų serijos, keičiant pjovimo greitį (žr. Nr. 2–14, 1 lentelė), pjovimo srovę (žr. Nr. 16–22, 1 lentelė), pjoviklio pasvirimo kampą (žr. Nr. 23–25, 1 lentelė).

Pjovimo greitis buvo keičiamas nuo 25 mm/s iki 200 mm/s. Kiti pjovimo parametrai nekito: srovė buvo 42,2 A, įtampa – 120 V, atstumas nuo tūtos iki gaminio – 4 mm, kampas – 90°. Pjovimo greitis, esant nekintantiems parametrams, buvo analizuojamas visame diapazone, t. y. nuo apdegusio pjūvio paviršiaus, susidariusio dėl labai mažo pjovimo greičio ir palyginti didelės srovės, iki ribos, kai nepavyko perpjauti plokštelės.

Pirmasis bandymas atliktas esant mažiausiam pjovimo greičiui – 25 mm/s. Pjūvio kokybė bloga, todėl jis nebus analizuojamas. Antruoju bandymu pjaunant 33 mm/s greičiu pjūvio paviršius buvo apdeges, šiurkštus, labai prasta pjūvio kokybė (2 pav.). Didinant pjovimo greitį buvo stebimi pagrindiniai pjūvio kokybę nusakantys rodikliai pagal standartą LST EN 12584:2001 (3 pav.).



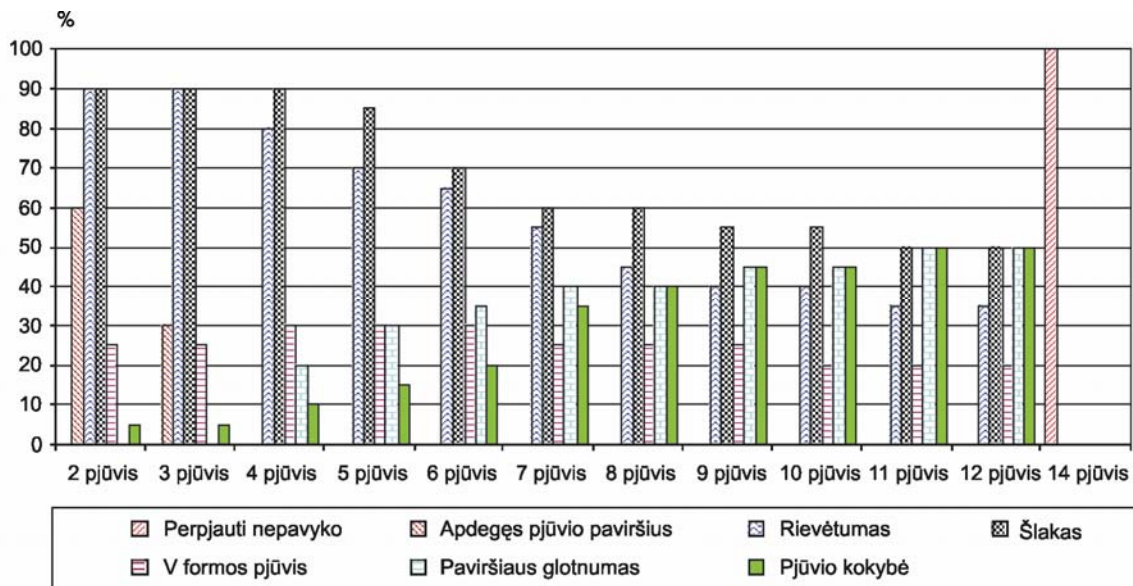
2 pav. Antrasis pjūvis: 1 – apdeges pjūvio paviršius; 2 – šlakas
Fig. 2. Simple 2: 1 – Burn off cut surface; 2 – slag



3 pav. Ketvirtasis pjūvis: 1 – rievėtumas; 2 – šlakas
Fig. 3. Simple 4: 1 – roughness; 2 – slag

4 pav. pateikiami esminiai pjūvio kokybę nusakantys parametrai keičiant pjovimo greitį. Iš jų galima matyti, kad apdeges pjūvio paviršius dar būna esant 41 mm/s greičiui, tačiau greitį padidinus iki 50 mm/s apdegusio pjūvio paviršiaus nematyti. Bandymo metu nepavyko pasiekti, kad nebūtų rievėtumo, tačiau pastebima tam tikra jo mažėjimo tendencija. Rievėtumas mažėja didinant greitį. Tačiau net esant 142 mm/s pjovimo greičiui, pastebimas ganėtinai intensyvus rievėtumas, o greitį padidinus iki 184 mm/s plokštelės nepavyksta perpjauti. Todėl kitų bandymų metu, siekiant iki minimumo sumažinti rievėtumą, nuspręsta greitį padidinti daugiau nei 200 mm/s ir sustiprinti srovę.

Visų pjūvių apatinėje dalyje formuodavosi limpantis šlakas. Šis prilipęs šlakas – tai aliuminio oksidai, suvirinant pereinantys į siūlės metalą, todėl juos reikia šalinti. Pašalinti sukietėjusį šlaką ganėtinai sudėtinga, todėl siekta, kad jo būtų kuo mažiau. Deja, gauti pjūvio, prie kurio nebūtų prilipusio šlako, nepavyko, bet didinant pjovimo greitį matyti šlako mažėjimo tendencija, todėl nuspręsta



4 pav. Pjūvių, keičiant pjovimo greitį, kokybės grafikas

Fig. 4. Quality of cutting depends of cutting speed

per kitus bandymus dar labiau didinti pjovimo greitį, taip tikintis sumažinti prilipusio šlako kiekį.

Atliekant pirmuosius pjūvius, susidarė nežymus „V“ formos briaunų nusklembimas, t. y. viršutinė pjūvio dalis tapo platesnė nei apatinė. Greitį padidinus iki 50 mm/s „V“ formos briaunų nusklembimas padidėjo. Daroma prielaida, kad taip nutiko dėl mažo plazmos lanko slėgio, kuris aliuminio plokštelę pralydė ganėtinai tolygiai, o padidinus greitį plazmos lankas nespėjo tolygiai lydyti per visą plokštelės plotį ir ėmė formuoti „V“ formos pjūvį. Pjovimo greičiui pasiekus 75 mm/s, briaunų nusklembimo laipsnis ėmė mažėti, o viršijus 100 mm/s greitį, pastebėtas tik nedidelis viršutinių briaunų aplydymas.

Išanalizavus atliktus pjūvius, matyti, kad plazminio pjovimo greičio didinimas turi didelę įtaką pjūvio kokybės gerėjimui. Didėjant greičiui, mažėja rievėtumas, mažiau lieka prilipusio šlako prie perpjautų plokštelių kraštų. Didžiausias greitis, kuriuo pavyko perpjauti 6 mm aliuminio plokštelę, buvo 142 mm/s, bet šio greičio nepakako iki minimumo sumažinti rievėtumo ir prilipusio šlako kiekį.

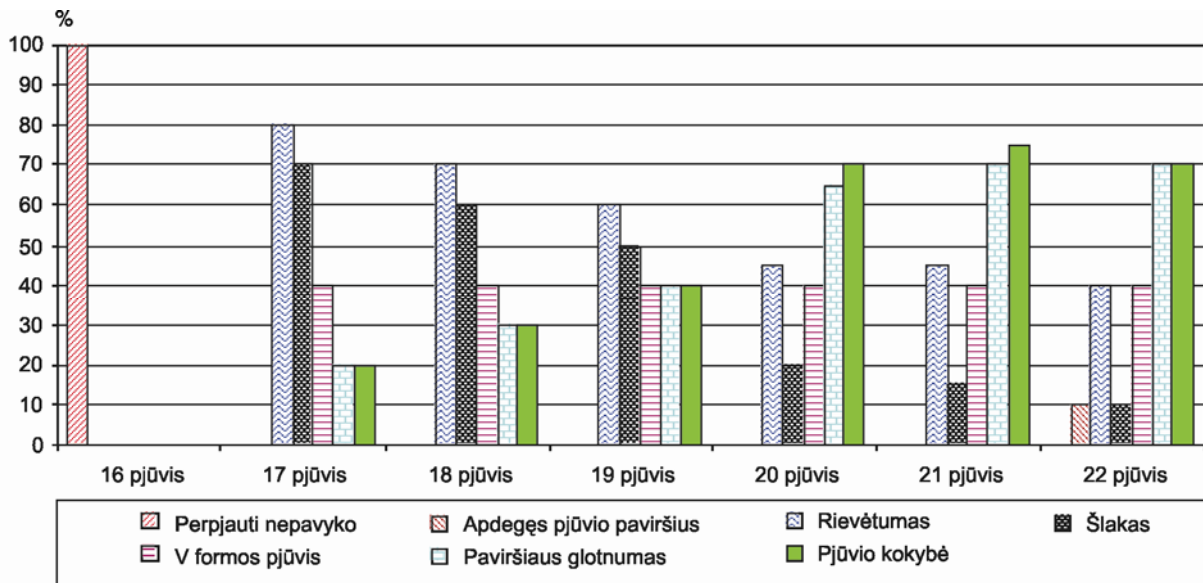
Dirbant pastebėta, kad suvirinimo vežimėlio skleidžiami trukdžiai stipriai iškraipo oscilografo rodmenis, todėl jie laikomi netiksliais ir nenaudojami analizuojant pjūvius.

Remiantis pirmajame tyrimų etape gautais rezultatais nustatyta, kad antrajame etape, siekiant geresnės pjūvio kokybės, reikia didinti pjovimo greitį ir keisti srovės dydį. Pjovimo greitis pasirinktas 217 mm/s, įtampa – 120 V, atstumas nuo tūtos iki gaminio – 4 mm, kampas – 90°. Pjauti naudota srovė keista nuo 45 A iki 71,2 A. Pjo-

vimo srovė, esant šioms nekintantiems parametrams, išanalizuota visame diapazone (5 pav.). 15 ir 16 bandymu, kai srovė 45–48 A, plokštelės perpjauti nepavyko dėl per mažos srovės ir didelio pjovimo greičio. Atliekant paskutinį bandymą, buvo pastebėtas pjūvio paviršiaus apdegimas, kuris atsirado dėl didelės srovės. Bandymų metu nepavyko visiškai išvengti rievėtumo, tačiau paaiškėjo tam tikros jo kitimo tendencijos. Atlikus pjūvį 47 A srove (Nr. 17, 1 lentelė), matomas didelis rievėtumas, tačiau didinant srovę, pastebimas jo mažėjimas. Patenkinamas rezultatas pasiektas esant 61,8 A srovei (Nr. 20, 1 lentelė). Didinant srovę rievėtumas nereikšmingai mažėjo. Geriausias rezultatas pasiektas esant 71,2 A srovei (Nr. 22, 1 lentelė.). Tačiau net esant šiam srovės dydžiui, nedidelis rievėtumas vis tiek išliko.

Didinant srovę, šlako kiekį pavyko sumažinti ištisai įspūdingai. Pjaunant 47 A dydžio srove, prie perpjautų plokštelių liko nemažai prilipusio šlako, tačiau didinant srovę šlako kiekis intensyviai mažėjo. Srovę padidinus iki 61,8 A, prilipusio šlako kiekis gerokai sumenko. Perpjovus 69,1 A srove, šlako liko labai nedaug ir jis nesudarė vientisos grandinės, o liko tik atskiri nedideli prilipę šlako fragmentai.

Atliekant pjūvius, susidarė nedidelio masto „V“ formos briaunų nusklembimas, t. y. viršutinė pjūvio dalis platesnė nei apatinė. Tačiau keičiantis srovei, esant 217 mm/s greičiui, nepastebėta priklausomybės nuo srovės kitimo. Pastebėtas tik pjūvio diametro kitimas: didėjant srovei, pjūvis plėtėja.



5 pav. Pjūvių, keičiant pjovimo srovę, kokybės grafikas

Fig. 5. Quality of cutting depends of cutting current

Išanalizavus atliktus pjūvius matyti, kad didinant srovę galima iki minimumo sumažinti prilipusio šlako kiekį ir stipriai pagerinti pjūvio kokybę. Tačiau nors srovės didinimas ir mažina rievėtumą, gauti labai glotnaus pjūvio, naudojant šiuos režimus, nepavyko. Palyginus šiuos pjūvius su ankstesniais, darytais naudojant 42 A srovę ir didinant greitį, matoma akivaizdžiai pagerėjusi kokybė. Todėl galima daryti išvadą, kad siekiant geros pjūvio kokybės reikia pasirinkti didelį pjovimo greitį ir srovę. Šių bandymų metu, pjaunant 217 mm/s greičiu, geriausi rezultatai pasiekti, kai pjauti naudojama srovė siekė 61,8–71,2 A. Rekomendacinė srovė yra 65–70 A.

Išanalizavus ankstesnių pjovimo parametrų įtaką rezultatams, trečiajame tyrimų etape pasirinkta tirti plazminio pjoviklio pasvirimo kampo (kampą matuojant tarp tūtos ir pjaunamos plokštelės) įtaka pjūvio kokybei. Tyrimui atlikti pasirinkti tokie parametrai: pjovimo greitis – 217 mm/s, srovė – 57 A, įtampa – 120 V, atstumas nuo tūtos iki gaminio – 4 mm.

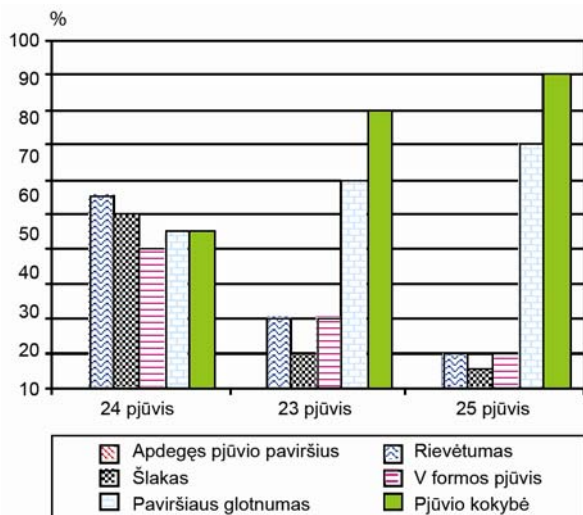
24-ame pjūvyje, atliktame, kai pjoviklio kampas 90°, matomas rievėtumas, nemažai prilipusio šlako. Pjūvio paviršius ganėtinai šiurkštus, kokybė vidutinė. Kitas pjūvis atliktas plazminį pjoviklį palenkus 45° kampu. Pakeitus tik vieną parametą, t. y. palenkus degiklį 45° kampu, tarp gautų pjūvių matyti akivaizdus skirtumas. Gerokai sumažėjo rievėtumas, pjūvis tapo kur kas glotnesnis. Pjaunant 90° kampu, prie perpjautos plokštelės liko prilipusio šlako, kuris sudarė ištisą sunkiai pašalinamą grandinę. Palenkus pjoviklį 45° kampu, šlako liko nedaug ir jis nesudarė vientisos grandinės, o liko tik pavieniai nesunkiai pašalinami šlako likučiai. Atliekant

pjūvį 45° kampu buvo mažiau nusklembtos „V“ formos briaunos, negu pjaunant 90° kampu, tačiau pjūvis tapo platesnis.

Palyginus du pjūvius (6 pav.), matyti akivaizdus kokybės skirtumas. Pjaunant 45° kampu, visi pjūvio kokybės parametrai pagerėjo. Vienintelis pastebėtas trūkumas – pjūvio paplatėjimas, dėl kurio, ypač pjaustant smulkias detales, padidės pjovimo sąnaudos lyginant su pjūviu, atliktu laikant degiklį 90° kampu.

Trečiasis pjūvis atliktas degiklį laikant 135° kampu. Palyginus 25-ąjį pjūvį su 24-uoju matomas akivaizdus skirtumas. 25-ame pjūvyje stipriai sumažėjęs rievėtumas, pjūvis kur kas lygesnis, glotnesnis. Prie perpjautų plokštelių kraštų nebėra prilipusio šlako. Nors liko tik nedidelis „V“ formos briaunų nusklembimas, bet 25-asis pjūvis kur kas platesnis už 24-ąjį, o tai, kaip jau nustatyta, turi įtakos pjūvio sąnaudoms, ypač pjaustant smulkias detales. Palyginus pagal visus parametrus pjūvį, atliktą pasukus plazminį degiklį 135° kampu, su pjūviu, kai plazminis degiklis buvo laikomas 90° kampu, 25-ojo pjūvio kokybė geresnė. Todėl daroma išvada, kad, siekiant aukštos pjūvio kokybės, reikia pasukti plazminį degiklį taip, kad tarp tūtos ir pjaunamos plokštelės būtų 135° kampas.

Lyginant 25-ąjį pjūvį su 23-uoju didelio kokybės skirtumo nėra, tačiau laikant pjoviklį 135° kampu, sumažėja rievėtumas ir nelieta šlako, dėl to pjūvis tampa glotnesnis. Vienintelis trūkumas, pastebėtas pjaunant 45° ir 135° kampais, tai paplatėjęs pjūvis. Ar kampas yra 45°, ar 135°, pjūvio plotis išlieka toks pat, t. y. platesnis, nei pjaunant 90° kampu.



6 pav. Pjūvio kokybės grafikas keičiant pjovimo kampą

Fig. 6. Quality of cutting depends of cutting angle

Įvertinus visus kriterijus, galima daryti išvadą, kad geriausia pjūvio kokybė būna, kai tarp pjaunamos plokštelės ir tūtos yra 135° kampas. Pjaunant šiuo kampu 6 mm aliuminio plokštelę buvo gauta labai gera pjūvio kokybė. Šį bandymą palyginus su kitais bandymais, kai pjauta 217 mm/s greičiu, nustatyta, kad geriausi rezultatai pasiekti, kai pjauti naudota srovė siekė 61,8–71,2 A. Vienintelis trūkumas – platesnis pjūvis, todėl rekomenduojamas kampas, pjaunant 6 mm aliuminio plokštelę, yra 135°.

Išvados

1. Atlikus aliuminio plokštelės pjovimo bandymus, nustatyta, kad, aliuminį pjaunant oro plazma, pjūvio kokybė yra gera.
2. Iširta, kad tarp pjovimo greičio, srovės ir pjūvio rievėtumo yra tiesioginė priklausomybė. Didinant srovę ir pjovimo greitį, rievėtumas mažėja.
3. Remiantis gautais pjovimo bandymų duomenimis nustatyta, kad, didėjant pjovimo srovei, prie perpjautų plokštelių kraštų prilipusio šlako kiekis sumažėjo iki minimumo. Geriausias rezultatas pasiektas esant 217 mm/s pjovimo greičiui ir 69 A srovei.

4. Atliekant pjūvius susidarė nedidelis „V“ formos briaunų nusklembimas, tačiau esant 217 mm/s pjovimo greičiui nepastebėta priklausomybės nuo srovės kitimo, matyti tik pakitęs pjūvio plotis. Didėjant srovei, pjūvis plėtėja.
5. Remiantis gautais pjovimo kampo keitimo duomenimis nustatyta, kad pjoviklio palenkimas 45° ar 135° kampu turi labai didelę įtaką pjūvio kokybės gerėjimui, nes sumažėja rievėtumas ir prilipusio šlako kiekis.

Literatūra

- Gedzevičius, I. 2007. *Specialieji suvirinimo ir pjovimo būdai: laboratorinių darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika.
- LST EN 12584:2001 *Deguoninio liepsninio, lazerinio ir plazminio pjovimo defektai. Terminija. Imperfections in oxyfuel flame cuts, laser beams cuts and plasma cuts – Terminology*.
- Microplasma welding PLASMAFIX [interaktyvus]. Industrie.com [žiūrėta 2009 m. vasario 12 d.]. Prieiga per internetą: <www.usinenouvelle.com/industry/air-liquide-welding-4781/microplasma-welding-plasmafix-p15714.html>.
- Plasma torch [interaktyvus]. 2007. CUTWELD [žiūrėta 2009 m. kovo 7 d.]. Prieiga per internetą: <www.cutweld.com.cn/products2.asp?fatherid=8>.
- Valiulis, A. V. 2008. *Welding and Thermal Cutting. An Introduction*. Vilnius: Technika.

RESEARCH ON CUTTING THE PLASMA OF ALUMINIUM ALLOYS

M. Jašinskas, I. Gedzevičius, G. Garbinčius, J. Gargasas

Abstract

The paper analyses the plasma cutting process of nonferrous metals. The influence of aluminium and modes of brass plates cut on the quality of the cut using air plasma are presented. The modes of plasma cutting counting differences in speed, flow, the tip of the angle and the distance between the shell and the cutting plate are analysed. According to the given results, dependences are proposed. A particular influence of the cut parameter on the quality of the cut is determined.

Keywords: plasma cutting, aluminium cutting, parameters of plasma cutting.